АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 621.396+681.518

А.В. ЗЕРНОВ, Е.А. ЛУКЬЯНОВ

НЕЙРОСЕТЕВОЙ КОНТРОЛЛЕР КОРРЕКТИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ СЛЕДЯЩИХ ПРИВОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Рассматривается метод повышения точности изготовления деталей на технологическом оборудовании при помощи формирования дополнительного сигнала для следящих приводов в зависимости от параметров движения рабочего органа. Предложена структура адаптивной нейронной сети, ориентированной на задачи управления следящими приводами.

Ключевые слова: *точность изготовления, искусственная нейронная сеть, адаптивное управление.*

Введение. Стремление производителей к реализации предельных технологий приводит к повышению требований к точности обработки изделий на металлорежущем оборудовании. Одним из основных факторов, влияющих на точность получаемых поверхностей, является отклонение траектории движения режущего инструмента от заданной траектории [1].

Постановка задачи. Целью работы является повышение точности изготовления деталей при обработке на технологическом оборудовании, имеющем следящие приводы подач. Рассматривается метод повышения точности обработки деталей на металлорежущих станках посредством формирования дополнительного управления приводами подач с целью уменьшения траекторной погрешности движения режущего инструмента. Для этого используется интеллектуальная система управления (ИСУ), реализующая алгоритмы управления с переменными (настраиваемыми в процессе обработки) параметрами. Для реализации корректирующих управлений приводами используется искусственная нейронная сеть, формирующая, в дополнение к управлению ЧПУ станка, дополнительный сигнал для следящих приводов в зависимости от текущих и будущих параметров движения (рис.1).

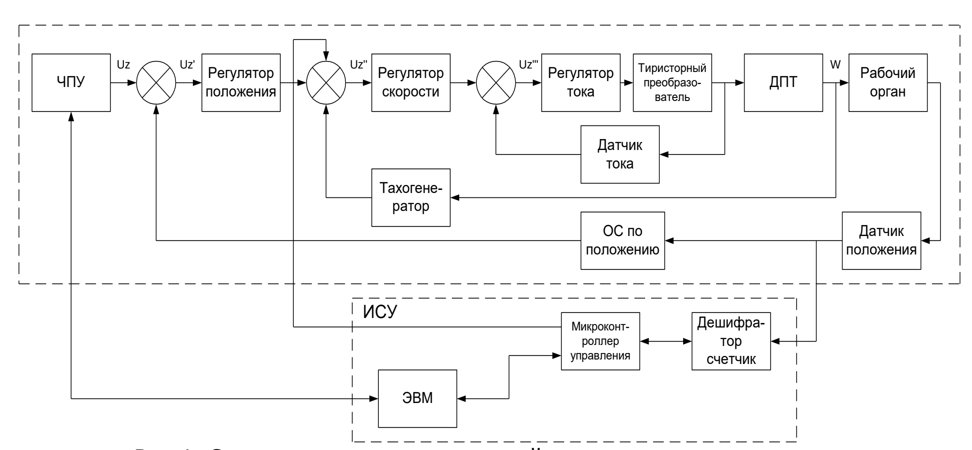


Рис.1. Структурная схема взаимодействия управляющих систем

Исполняемая программа загружается в ЧПУ станка и ИСУ из ЭВМ до начала процесса обработки. Приводы подач управляются системой ЧПУ станка, а ИСУ корректирует координатные движения для увеличения точности траекторного перемещения. Сигналы со станочных датчиков перемещения обрабатываются также ИСУ, образуя дополнительный контур управления по положению рабочего органа станка.

Объектом компенсационного управления является траекторная погрешность движения режущего инструмента при управлении двумя координатными приводами (рис.2). Траекторию движения можно условно разделить на два участка:

- движение инструмента по траектории $x \subset (x_0, x_1)$, $z \subset (z_0, z_1)$;
- движение инструмента по траектории $x \subset (x_1, x_2)$, $z \subset (z_1, z_2)$.

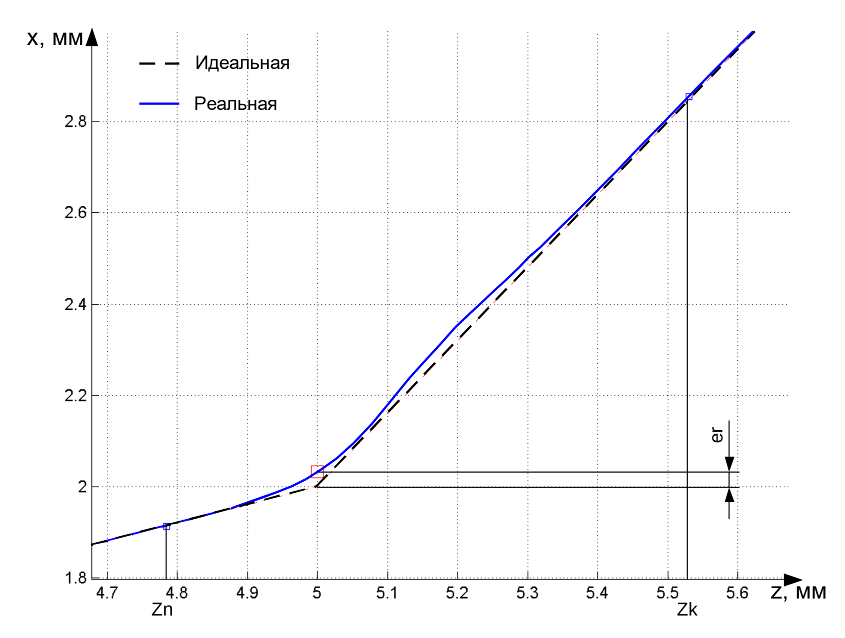


Рис.2. Траектория движения режущего инструмента (траекторная ошибка e_r=0,03 мм)

Определим целевую функцию, используя оценки отклонения траектории движения от заданной:

$$U(w) = k_1 * e_r + k_2 * e_{rcc}, \quad (1)$$

где k_1 – весовой коэффициент, определяющий степень влияния максимального значения мгновенной ошибки регулирования на общую погрешность; e_r – максимальное значение мгновенной ошибки регулирования; k_2 – весовой коэффициент, определяющий степень влияния среднего значения мгновенной ошибки регулирования на интервале управления; $e_{rср}$ – среднее значение мгновенной ошибки регулирования на интервале управления.

Интервал управления определяется как время, за которое ошибка траекторного движения становится меньше ошибки, обеспечиваемой точ-

ностью ЧПУ станка. Определим координату начала Zn и окончания Zk участка изменения скоростей следующим образом:

$$Zn = Z_1 - Vz_1 * ok_1, \qquad (2)$$

где Z_1 – значение координаты, в которой должна произойти смена направления движения суппорта, мм; Vz_1 – линейная скорость перемещения суппорта по координате Z на первом участке, мм/с; ok_1 – время, в течение которого ошибка траекторного движения больше ошибки, обеспечиваемой паспортной точностью станка, на «первом» траекторном участке движения, ok_1= 0,035c;

$$Zk = Z_1 + Vz_2 * ok_2, \qquad (3)$$

где Vz_2 – линейная скорость перемещения режущего инструмента по координате Z на втором участке, мм/с; ok_2 – время, в течение которого ошибка траекторного движения больше ошибки, обеспечиваемой паспортной точностью станка, на «втором» траекторном участке движения, ok_2=0,15c.

Основой ИСУ является искусственная нейронная сеть (ИНС), формирующая корректирующее управление приводами подач. В качестве входных параметров использованы значения угловых скоростей вращения валов двигателей приводов подач по обеим координатам на первом и втором участках траектории.

В общем случае выходными параметрами нейронной сети могут быть:

- признак координаты привода, для которой должно быть реализовано корректирующее воздействие;
- момент начала формирования корректирующего воздействия;
- амплитуда корректирующего воздействия;
- длительность воздействия.

Установлено, что одинаковое уменьшение погрешности обеспечивается меньшей величиной корректирующего сигнала управления при дополнительном управлении координатой X, чем в случае управления координатой Z. При вариации параметров движения эта закономерность сохраняется, и обусловлена, очевидно, меньшей инерционностью привода координаты X.

Корректирующее управление для варианта движения приведенного на рис.2 должно быть сформировано в момент достижения траекторной точки m_0, координата Z которой определяется как

$$m_0 = Z_1 - \left(\frac{Vz_1}{2,83}\right) * p_m, \qquad (4)$$

где Z_1 – значение координаты, в которой должна произойти смена скоростей приводов, мм; Vz_1 – линейная скорость перемещения суппорта по координате Z на первом участке, мм/с; p_m - интервал времени до изменения скорости движения суппорта, в который необходимо сформировать дополнительное управление, p_m =0,028c.

Выбор амплитуды и длительности корректирующего импульса взаимосвязаны. С одной стороны, малая длительность импульса и большая амплитуда приводит к возмущениям динамической системы привода и ударным токам. С другой стороны, длительность импульса не должна быть

слишком большой (хотя в этом случае необходима меньшая амплитуда импульса), т.е. соизмеримой со временем переходного процесса привода. В этом случае реакция следящего контура управления может привести к увеличению траекторной ошибки. Таким образом, теоретический диапазон возможных длительностей импульса ограничен 10-100 мкс. Экспериментально установлено, что наилучший результат обеспечивается при длительности импульса корректирующего управления равной 50 мкс.

Поскольку целесообразно принять длительность управляющего импульса постоянной, то варьируемым значением должна быть его амплитуда. Следовательно, нейронная сеть должна иметь один выходной сигнал. Тип и конфигурация нейронной сети определяются типом решаемой задачи, количеством входных и выходных переменных, размерностью обучающей выборки и сложностью функциональной зависимости входного вектора сети и выходного.

Для решения поставленной задачи нейронная сеть имеет четыре входных нейрона и один выходной. При анализе различных типов ИНС и методик обучения применительно к рассматриваемому классу задач управления учтено следующее [2]:

- с минимальной ошибкой обучаются сети обратного распространения ошибки, радиально-базисная (RBF) и обобщенно-регрессионная (GRNN);
- RBF- и GRNN-сети получаются весьма громоздкими при большой размерности векторов входов и обладают плохими экстраполирующими свойствами.

С учетом этого в качестве модели нейронной сети выбрана сеть с прямой передачей сигнала и обратным распространением ошибки. В качестве функции активации использована сигмоидальная для нейронов скрытых слоев и линейная для нейрона выходного слоя.

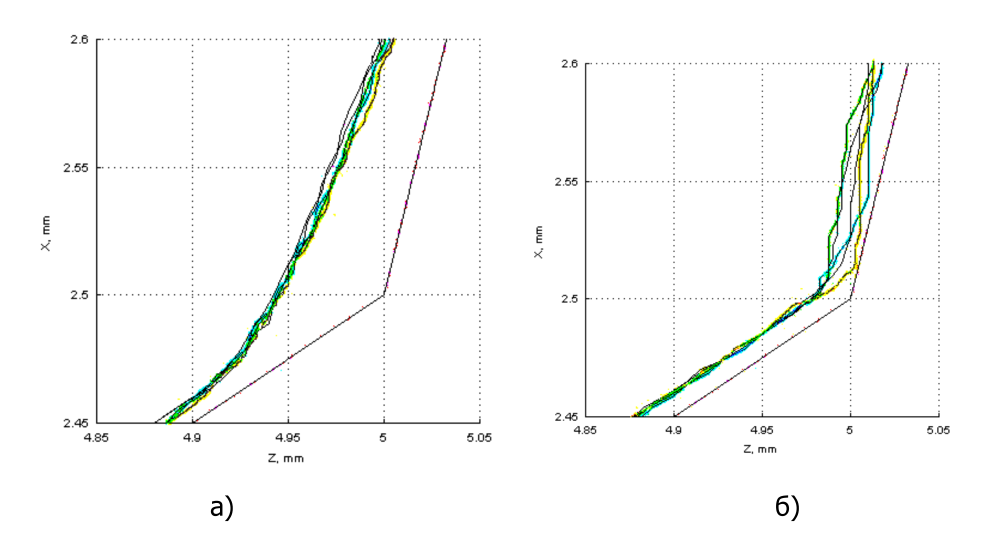
С использованием математической модели были апробированы различные варианты реализации ИНС, что позволило определить наилучшую конфигурацию, имеющую десять нейронов в среднем слое. С использованием пакета прикладных программ Neural Network Toolbox программного пакета Matlab 7 было выполнено математическое моделирование этой нейронной сети при решении поставленных задач управления. Обучающие выборки формировались на основе математического моделирования процессов траекторного управления приводами при различных начальных и конечных значениях скоростей. Диапазон изменения угловых скоростей вращения валов двигателей составил от 0,5 до 9 рад/с. Диапазон рассчитывающихся корректирующих напряжений находился в диапазоне ±0.5 В.

Поскольку параметры приводных систем станка изменяются с течением времени, нейронная сеть, обученная на основе выборок, определенных ранее, будет формировать корректирующее управление, не соответствующее текущему состоянию станка. В связи с этим необходимо решить задачу повторного обучения нейронной сети. При этом требуется принятие следующих решений: первое – установить момент времени при работе оборудования, когда формируемые корректирующие управления перестали быть адекватны состоянию станка, второе – каким образом получить обучающую последовательность.

Целесообразным представляется повторное обучение нейронной сети выполнять с учетом реально имевшихся и «ожидавшихся» траекторных погрешностей после проведения цикла обработок. В этом случае необходимо формирование критерия, на основании которого должно приниматься решение о новом переобучении сети. В качестве такого критерия может выступать разность значения целевой функции (расчетное значение ошибки) и математического ожидания реальной траекторной ошибки, полученного в результате нескольких реализаций корректирующего управления в процессе работы. Количество циклов управлений, учитываемых при принятии решения о повторном обучении сети может варьироваться в зависимости от конкретных условий производства и оборудования. При обработке информации о реальных траекториях перемещения должны быть выявлены и исключены промахи [3].

Методы испытаний. Экспериментальная часть исследований использования ИНС для управления траекторными перемещениями проводилась на токарном станке модели 1В340Ф30. Для измерения перемещения с инкрементных датчиков положения и формирования корректирующего напряжения были использованы разработанные блоки «дешифратор счетчик» и «микроконтроллер управления» (см.рис.1). Фрагменты траекторий движения инструмента без формирования корректирующего воздействия и результаты экспериментов с применением корректирующего воздействия приведены на рис.3,а.

Во втором случае (рис.3,б) ИНС формировала дополнительный сигнал для привода X величиной 60мВ и длительностью 50мс. Момент подачи его на привод координаты X составлял 10мс до начала изменения подач. Подача на первом и втором участке траектории составляла 80 дискрет/об, при скорости вращения шпинделя 1000 об/мин.



а) б)

Рис.3. Траектории движения режущего инструмента:
а – без формирования корректирующего воздействия;
б – с формированием корректирующего воздействия

Результаты эксперимента. Средняя ошибка траекторного движения режущего инструмента без коррекции составляла 0,04673 мм, с коррек-

цией – 0,01453 мм. Таким образом, траекторная ошибка при использовании нейронной сети уменьшена на 69%.

Выводы. Результаты, полученные методами математического моделирования, при экспериментальной проверке подтвердили эффективность этого решения. Применение ИНС для формирования дополнительного корректирующего управления приводами подач обеспечит повышение качества изготовления деталей. В настоящее время разрабатывается автономный аппаратно-программный модуль, реализующий предложенный способ управления и предназначенный для интеграции с системами процессорного управления станками.

Библиографический список

1. Тугенгольд А.К., Лукьянов Е.А. Структура и принципы построения интеллектуальных систем управления мехатронных объектов // Кибернетика и технологии XXI века: Тез. докл. 3-й междунар. науч.-техн. конф. / ВГУ. – Воронеж, 2000. – С.56.

2. Никитина Г.С., Чистова Ю.С., Киреев А.В. Выбор структуры нейронной сети для распознавания человека // Безопасность информационных технологий: Тез. науч.-техн. конф., 2004. – С. 86.

3. Кассандрова О.Н., Лебедев В.В. Обработка результатов наблюдений. – М.: Наука, 1970. – С. 48.

Материал поступил в редакцию 30.06.06.

A.V. ZERNOV, E.A. LUKYANOV

NEURAL NETWORK CONTROLLER OF CORRECTING CONTROL OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT KEEPING UP DRIVES

In the article the method of accuracy increasing of manufacturing details on the technological equipment by means of additional signal formation for keeping up drives depending on movement parameters of working body is considered. The structure of the adaptive neural network focused on problems of keeping up drives control is offered.

ЗЕРНОВ Алексей Викторович (р.1985), магистрант кафедры «Робототехника и мехатроника» ДГТУ.
Научные интересы: системы искусственного интеллекта, адаптивные системы управления.
Имеет одну научную работу.

ЛУКЬЯНОВ Евгений Анатольевич (р.1956), доцент кафедры «Робототехника и мехатроника» ДГТУ, кандидат технических наук.
Научные интересы: системы искусственного интеллекта, адаптивные системы управления.
Автор 37 научных публикаций.